

## LASER PLASMA X-RAY SOURCE

**Patent number:** WO9111043

**Publication date:** 1991-07-25

**Inventor:** MORSELL ARTHUR LEE (US); SHIELDS HENRY (US)

**Applicant:** CALIFORNIA JAMAR INC (US)

**Classification:**

- **international:** H01S3/30

- **european:** G03F7/20D2; G03F7/20T12; H01S3/00F1; H01S3/23M

**Application number:** WO1990US07557 19901220

**Priority number(s):** US19900467779 19900119

**Also published as:**

US5003543 (A1)

**Cited documents:**

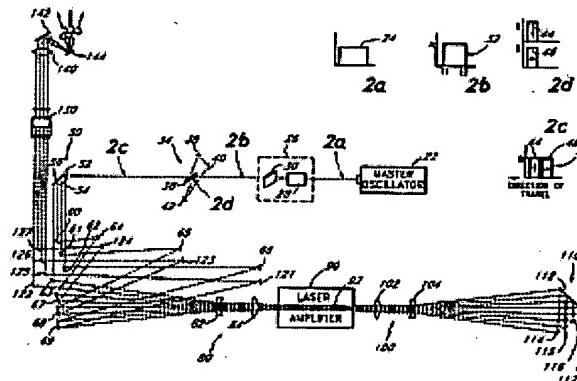
US4184078

[Report a data error here](#)

Abstract not available for WO9111043

Abstract of corresponding document: **US5003543**

A laser plasma X-ray source for use in photolithography is disclosed wherein an electro-optical shutter is used to trim the output pulse from a master oscillator to a desired duration. The pulse is then split into several pieces which travel along various optical delay paths so that the pieces pass sequentially through a laser power amplifier. After amplification, the pieces are reassembled and then focussed at the plasma target. In a first embodiment, polarization and angle coding methods are used to distinguish each pulse piece as it travels along the delay paths. In a second embodiment, polarization coding is replaced by additional angle coding transverse to the plane of the angles of the first embodiment. An expander/reducer lens assembly is used in both embodiments to reduce the angles between the beam paths and allow more beams to fit closely to the laser amplifier gain region.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

## ⑫ 公表特許公報 (A)

平5-506748

⑬ Int.CI.  
H 01 S 3/00  
3/10  
H 05 G 2/00

識別記号  
A 8934-4M  
Z 8934-4M  
8119-4C H 05 G 1/00

審査請求未請求  
予備審査請求有  
部門(区分) 7 (2)  
K (全 17 頁)

⑭ 公表 平成5年(1993)9月30日

## ⑮ 発明の名称 レーザーブラズマX線源

⑯ 特 願 平3-503292  
⑰ ⑱ 出 願 平2(1990)12月20日

⑲ 脳訳文提出日 平4(1992)7月17日  
⑳ 国際出願 PCT/US90/07557

㉑ 國際公開番号 WO91/11043  
㉒ 國際公開日 平3(1991)7月25日

㉓ 优先権主張 ㉔ 1990年1月19日 ㉕ 米国(US) ㉖ 467,779

㉗ 発明者 モーゼル, アーサー リー アメリカ合衆国 92014 カリフォルニア州 デル・マー カミニ  
ト・サン・バブロ 2757  
㉘ 発明者 シールズ, ヘンリー アメリカ合衆国 92126 カリフォルニア州 サン・ディエゴ カ  
レ・ヌエバ 8260  
㉙ 出願人 カリフォルニア・ジャマー・イ アメリカ合衆国 92121 カリフォルニア州 サン・ディエゴ ソ  
ンコーポレイテッド レント・ヴァレー・ブルヴァード 3956  
㉚ 代理人 弁理士 三澤 正義  
㉛ 指定国 A T(広域特許), B E(広域特許), C A, C H(広域特許), D E(広域特許), D K(広域特許), E S(広域特  
許), F R(広域特許), G B(広域特許), G R(広域特許), I T(広域特許), J P, K R, L U(広域特許), N L  
(広域特許), S E(広域特許)

請求の範囲

1. 第1の時間周期に等しい継続時間を有しているテンブレートレーザーバルス(32, 162, 164)を作るためのレーザーバルス発生器と、

前記第2の時間周期は第1の時間周期よりも長く、前記テンブレートバルス(32, 162, 164)が前記媒体(90, 220)の前記励起領域内に伝播するとき、エネルギーが前記レーザー媒体(90, 220)から前記テンブレートバルス(32, 162, 164)に移され、それによって、前記第1の時間周期に実質的に等しい継続時間を有する増幅したテンブレートバルスを発生する前記テンブレート(32, 162, 164)のエネルギーを増すように構成された第2の時間周期に等しい継続時間の間励起される励起領域を有しているレーザー増幅器媒体(90, 220)と、

前記増幅したテンブレートバルスをターゲット物質(12, 144, 270)に送り、前記ターゲット物質(12, 144, 270)によって、X線(13)が放射されるプラズマを形成させるための光学的送達システムとを特徴とするプラズマ発生X線源。

2. 更に、前記テンブレートバルス(32, 162, 164)からのシリーズの連続バルスを発生させるバルス列発生器を具備しており、前記シリーズの連続バルスが、前記第1の時間周期よりも大きい第3の時間周期に等しい全継続時間を有している請求項1に記載

のX線源。

3. 前記バルス列発生器が、

前記テンブレートバルス(32, 162, 164)を複数の光路に沿って伝播する複数の第2のテンブレートバルスに分割するビームスプリッタ(50, 170)と、

少くとも2つの前記第2のテンブレートバルスの間に遅延時間を挿入する光学的遅延とを具備している請求項2に記載のX線源。

4. 前記光学的遅延が、複数の光学的遅延を具備し、前記複数の遅延の各々が、前記第1の時間周期の整数倍に等しい継続時間を有している請求項3に記載のX線源。

5. 前記レーザー増幅器媒体(90, 220)がエキシマーレーザーである請求項1記載のX線源。

6. 時系列的に一連の個々のバルスを具備しているバルス列(70)を作り出すバルス列発生器と、

励起領域を有しており、前記バルス列(70)が前記励起領域を通り伝播するとき、エネルギーが前記レーザー媒体(90, 220)から前記バルス列(70)に移されるレーザー増幅器媒体(90, 220)と、

前記バルス列(70)を具備している前記個々のバルスの各々をエンコードするバルスエンコードと、

前記バルス列(70)を時系列的に一連のバルスから時間の一一致したグループのバルスに変換するバルス列コンプレッサーと、

ターゲット(12, 144, 270)と、

前記時間一致したパルスを前記ターゲット (12, 144, 270) 上の共通のロケーションに送り、それにより X 線 (13) が放射されるプラズマを形成する光伝送システムとを特徴とするプラズマ発生 X 線源。  
 7. 前記パルスエンコーダが、複数の光路を規定する角度エンコードを具備し、前記複数の光路の各々が、前記レーザー増幅器励起領域の軸に対して異なる角度を形成し、そして異なる個々の光路が、前記励起領域を通り前記パルス列 (70) の前記個々のパルスの異なるパルスを伝送する請求項 6 に記載のプラズマ発生 X 線源。  
 8. 前記角度エンコーダが更に、第 1 の焦点を有している凸レンズ (84, 214) と、第 2 の焦点距離に焦点を有している凹レンズ (82, 212) とを具備している請求項 7 に記載の X 線源。  
 9. 前記第 2 の焦点距離が前記第 1 の焦点距離よりも小さい請求項 8 に記載の X 線源。  
 10. 前記凸レンズ焦点が前記凹レンズ焦点に実質的に一致している請求項 8 に記載の X 線源。  
 11. 前記パルスエンコーダが、偏光エンコーダを具備し、それがそれ等の偏光によって個々のパルスを識別する請求項 6 に記載のプラズマ X 線源。  
 12. 前記レーザー増幅器媒体 (90, 220) がエキシマーレーザーである請求項 6 に記載 X 線源。  
 13. 第 1 のパルス長さを有しているハイパワーパルスレーザーと、  
 前記第 2 のパルス長さが前記第 1 のパルス長さより

も小さく構成されおり、第 2 のパルス長さを有している強力なレーザーパルス (11) を発生するように臨時幅の前記パルスレーザーを圧縮するパルスコンプレッサーと、

ターゲット (12, 144, 270) と、  
 前記強力なレーザーパルス (11) を前記ターゲット (12, 144, 270) 上のロケーションに送り、それにより X 線 (13) が放射されるプラズマを形成する光伝送システムとを特徴とするプラズマ発生 X 線源。

14. 前記ハイパワーパルスレーザーが、繰返しパルスのエキシマーレーザーを具備している請求項 13 に記載のプラズマ発生 X 線源。

15. 更に、第 3 のパルス幅を有しているテンプレートパルス (32, 162, 164) を発生するマスター・オシレーター (22, 155) を具備し、前記テンプレートパルス (32, 162, 164) が、前記ハイパワーパルスレーザーによって増幅されて、前記第 3 のパルス幅に実質的に等しいパルス幅を有している前記強力なレーザーパルス (11) を発生する請求項 13 に記載のプラズマ発生 X 線源。

16. 更に、前記テンプレートパルス (32, 162, 164) をトリミングするパルストリマーを具備している請求項 15 に記載のプラズマ発生 X 線源。

17. 前記パルストリマーが更に、ポケルスセル (28) 及びの偏波器を具備している請求項 16 に記載のプラズマ発生 X 線源。

18. 前記パルストリマーが更に、絶縁破壊光学スイッチを具備している請求項 16 に記載のプラズマ発生 X 線源。  
 19. 前記パルストリマーが更に、可饱和アブソルバー光学スイッチを具備している請求項 16 に記載のプラズマ発生 X 線源。  
 20. 更に、前記テンプレートパルス (32, 162, 164) を複数の第 2 のパルスに分けるスプリッタと、前記複数の第 2 のパルスが、順次に前記ハイパワーパルスレーザーを通過できるように、複数の遅延時間を前記複数の第 2 のパルスに与える遅延とを具備している請求項 15 に記載のプラズマ発生 X 線源。  
 21. 更に、前記強力なレーザーパルス (11) を発生するため前記複数の第 2 のパルスを新たに組み合せるパルスアセンブラーを具備している請求項 20 に記載のプラズマ発生 X 線源。  
 22. 更に、前記複数の第 2 のパルスを逐次に一回以上前記ハイパワーパルスを通過させるための逆光学系を具備している請求項 20 に記載のプラズマ発生 X 線源。  
 23. 更に、前記強力なレーザーパルス (11) を発生するため前記複数の第 2 のパルスを新たに組み合せるパルスアセンブラーを具備している請求項 22 に記載のプラズマ発生 X 線源。  
 24. 更に、遅延時間を具備し、それが、前記複数の第 2 のパルスの立下りパルス及び前記複数の第 2 のパルスの立上りパルスを、ある期間の間、前記ハイパワ

ーパルスレーザーのゲイン領域 (92, 222) 内にオーバーラップせしめ、そしてそれがゲイン領域 (92, 222) が前記複数の第 2 のパルスの多重パスによって占められている期間中、連続的に前記ゲイン領域 (92, 222) からのエネルギー挿出が統けられるのを保証する請求項 22 に記載のプラズマ発生 X 線源。

25. 更に、前記ハイパワーパルスレーザーのゲイン領域 (92, 222) を通り複数の光路を規定する角度エンコーダを具備し、前記複数の第 2 のパルスが前記ゲイン領域 (92, 222) を通り異なる光路角度により次々に識別され分離されるように、前記複数の光路が構成されている請求項 20 に記載のプラズマ発生 X 線源。

26. 更に、偏光エンコーダを具備し、これが前記複数の第 2 のパルスを、それ等が前記ゲイン領域 (92, 222) を通過するとき、次々に識別され、分離可能である請求項 20 に記載のプラズマ発生 X 線源。

27. 第 2 のパルス長さが第 1 のパルス長さよりも小さく構成されて、前記第 1 のパルス長さをもつ高エネルギー・パルスレーザーの一時幅を、前記第 2 のパルス長さをもつ強力なレーザーパルス (11) 内に圧縮するステップと、

前記強力なレーザーパルス (11) をターゲット (12, 144, 270) に導き、それによって X 線 (13) が放射されるプラズマを形成するステップとを特徴とする X 線発生方法。

28. 第1のパルス長さをもつパルスのレーザー物質を励起するステップと、

前記第1のパルス長さよりも短い周期をもつ強力なレーザーパルス(11)の形でエネルギーを前記励起したレーザー物質から摘出するステップと、

前記強力なレーザーパルス(11)をターゲット(12, 144, 270)に導き、それによりX線(13)が放射されるプラズマを形成するステップを特徴とするX線発生方法。

29. 第1のパルス長さをもつレーザーパルス(24)を発生するステップと、

第2のパルスの長さが第1のパルス長さより小さく構成されている時前記レーザーパルス(24)の一時幅を圧縮して、前記第2のパルス長さを有している強力なレーザー(11)パルスを発生するステップと、ターゲット(12, 144, 270)を設けるステップと、

前記強力なレーザーパルス(11)を前記ターゲット(12, 144, 270)上のロケーションに送り、それによりX線(13)が放射されるプラズマ形成するステップとを特徴とするX線発生方法。

30. 更に、前記圧縮ステップが、

テンプレートパルス(32, 162, 164)を発生するステップと、

前記テンプレートパルス(32, 162, 164)を複数の第2のパルスに分けるステップと、

前記複数の第2のパルスを複数の遅延時間送らせて、

パルス列周期をもつパルス列(70)を発生させるステップと、

前記第1のパルス長さよりも長い励起周期を有している励起レーザー媒体を通り前記複数の第2のパルスを順次通過して、前記第2のパルスのエネルギーを増加するステップと、

前記複数の増加したエネルギーの第2のパルスを新たに組み合せて、前記強力なレーザーパルス(11)を発生するステップからなる請求項29に記載の方法。

31. 更に、前記励起レーザー媒体を通り前記複数の第2のパルスを順次通過させる前記のステップを反復するステップからなる請求項29に記載の方法。

32. エネルギー蓄積時間周期を有しているレーザー放射媒体を励起するステップと、

前記列内の各パルスは第1の時間周期に等しい幅を有し、隣接するパルスが第2の時間周期に等しい時間周期だけ分離され、前記第2の時間周期が、前記レーザー放射媒体の前記エネルギー蓄積時間周期よりも大きくないように構成されている場合に、パルス列を発生させるステップと、

前記レーザー放射媒体を通り前記パルス列を移送するステップとを特徴とするレーザーパルスを増幅し、時間圧縮する方法。

33. 第1の時間幅を有しているレーザーパルス(24)を発生するステップと、

前記レーザーパルスの第1の時間幅は前記励起時間よりも少なく構成されている時、励起時間周期に等し

### 明細書

#### 発明の名称

レーザープラズマX線源

#### 発明の分野

本発明は一般的にはプラズマからX線を発生するシステムに関し、そして詳細には、レーザーからの強烈な、短い継続時間の光パルスをターゲット上に集束することによってホットプラズマを発生するシステムに関する。このタイプのX線源において、集束レーザービーム内に含まれる集中エネルギーは、ターゲット物質を有効に蒸発して、蒸気原子が多重イオン化され、そしてプラズマ内の自由電子がプラズマ内のイオンと再結合したときX線を放射するような超高温度にターゲット物質を昇温する。プラズマ発生X線の応用分野の1つには、リトグラフィーがある。

#### 発明の背景

リトグラフィーブロセスでは、光は、所望のパターンを有しているマスクを通り高感光性の基板上に送られる。マスクが、光の波長に比肩できる微細な特徴、典型的に1/4乃至1/2マイクロメートル程度、を含むとき、回折効果で模写を劣化することがある。X線が非常に短い波長を有しているので、リトグラフィー印刷の分野において、最近X線の使用が注目されてきた。X線リトグラフィー印刷は、次の世代の超小型電子部品を作るときに考えられる主要技術の1つである。

リトグラフィーに使用するため、いくつかのX線発

生源が開発されてきた。電子衝撃X線源が一般的に高エネルギーX線を発生するが、これはレジスト層で停止せず、統いて基板材料を損傷することがある。シンクロトロン源はソフトなX線を放射するが、高い費用及び大型の外形寸法によって制限される。X線を発生するレーザーがテストされたが、性能及び効率がはるかに劣っていた。

一般的に、光対X線変換効率の高いX線は、次の4つの基準が満足されれば作ることができることが知られている。(1)レーザーパルスの強さが、ターゲット上の集束スポットにおいて約 $6\text{ TW/sq. cm}$ よりも大きい。(2)プラズマの拡大が急速な冷却を生ずる程、焦点スポットは小さくない。(3)レーザー放射線の波長は、レーザーパルスとプラズマターゲットとの間の結合を最適化するのに十分短い。そして(4)適切なターゲット材料が選択される。

上記に概要を示した基準は、ソリッドステート及びディスチャージ・ポンプド (discharge pumped) 稀ガスハライド・レーザーを含む1以上のタイプのレーザーによって満たされる。より一般的にはエキシマー (excimer) レーザーと言われているディスチャージ・ポンプド稀ガスハライド・レーザーは、ソリッド・ステートレーザーよりも短い波長のパルスを発生し、そしてプラズマターゲットにより有効なカップリングを可能にする。残念ながら、発生したパルスは、十分高いプラズマ温度を発生するのに必要な瞬間的ピックパワーを与えるには、エネルギーが低くすぎ、継続時間

が長すぎる。低いレーザーパワーの結果として、ディスクレーチャージ・ボンド・レーザーを用いてX線を発生する従来のシステムは、低変換効率しか得られなかった。このタイプのレーザーは、適切な光対X線変換効率に必要な瞬間強さを発生するような程度に出力パルスの圧縮を必要とする。

現在、ナノ秒範囲のパルス幅を有しているエキシマーレーザーが利用可能である。しかしながら、これらの短いパルスレーザーのパワー出力は、リトグラフィーの分野に有用であるX線を放射するプラズマの発生には低くすぎる。他方において、ハイパワーレーザーは、X線発生に用いるには継続時間が長すぎるパルスを発生する。一般的に、プラズマが過度に拡大される前に、レーザーパワーをプラズマ内に入れるために、プラズマからX線を発生するにナノ秒長のパルスが必要があると信じられている。

#### 発明の概要

本発明のパルス圧縮技法は、マスター・オシレーターによって発生した出力パルスを電子光学シャッターを使用して、所望の継続時間にトリムするのである。そのパルスはいくつかの部片に分けられ、それ等の部片が逐次、レーザーパワー増幅器を通過する。増幅後、それ等の部片は単一の短いパルスに新たに組み合わされ、そのパルスがレーザー・プラズマターゲット上の所定の焦点スポットに集束される。

増幅器を通る伝播前後にレーザーパルス間に必要な遅延を挿入し、それから除去するために、角度によ

って区別される別々の光路が、各パルス片に対して構成される。これらのシステムの物理的制限、特に、遅延光路における必要な角度の大きさは、今まででは、小さい値に対する実現可能なパルス圧縮比に制限されるか、あるいは、大きな、厄介なそして複雑な構成となつた。マスター・オシレーター及び増幅器のゲイン領域からの角度の付いたビーム間の不十分なオーバーラップ度が、レーザーエネルギーの重大なロスとなることがある。エキシマーレーザーのゲイン媒体は、数ナノ秒以上のエネルギーを蓄積不可能であることが知られているから、ゲイン媒体内の利用可能なエネルギーのいくらかは、放電期間のかなりの部分に対してビームがゲイン領域を満たさなければ、浪費される。更に、電極面に対して角度の付いた光路を有するビームでは、ビームエッジがレーザー増幅器電極に当たると、追加のエネルギーが失なわれる。

本発明は、ハイパワーエキシマーレーザーの出力パルスを、プラズマターゲットの焦点スポットに必要な強さを発生する値まで短くする解決方法を提供する。本発明は有利なことには、従来のパルス圧縮技法にしばしば関連している出力エネルギーの実質的損失もなく、パルス継続時間を減少させ得る。

更に特定的には、1つの実施例では、このシステムは、遅延の挿入及び除去中に、パルスを区別し、分離する偏光に使用し、したがって与えられた圧縮比に必要な角度のある光路数を減少する。更に、このシステムは有利には、ビームがレーザーゲイン領域を通り進

行するときビーム間の角度差を減少し、したがってゲイン領域での不十分なオーバーラップから生ずる問題もなくより多くのビームを増幅器を通過可能にするため、光ビームエキスパンダー／レジューサ組立体を利

用する。

他の実施例では、多数のパルスを偏光によって区別できる2つのグループに分離する代りに、パルスは、2つの区別できる平面図を進行する。必要な鏡の数は、パルスが各平面内の実質的類似の光路に沿って進行できるので、半分まで減少できる。エキスパンダー／レジューサレンズ組立体は、より多くのビームを増幅可能にするためレーザー増幅器を通るビーム路間の角度差を減少するためこの実施例にふたたび使用される。

本発明は、テンプレートレーザーパルスを作るためのレーザーパルス発生器を具備しているプラズマ発生X線源を提供し、この場合、テンプレートレーザーパルスは、第1の時間周期に等しい継続時間を有している。この源は、更に、第2の時間周期に等しい継続時間の間励起される励起領域を有しているレーザー増幅器媒体を含む。この場合、第2の時間周期は、第1の時間周期よりも長く、テンプレートパルスが媒体の励起領域内を伝播するとき、エネルギーがレーザー媒体からテンプレートパルスに移り、それによってテンプレートパルスのエネルギーを増加し、第1の時間周期に実質的に等しい継続時間を有している増幅したテンプレートパルスを発生するようになっている。

光伝送システムが、増幅したパルスをターゲット物

一を増加し、第1の時間周期にはば等しい継続時間をお有している増幅したパルスを作り出すようになっている。

角度エンコーダが、複数の光路を規定するために設けられている。この場合、複数の光路の各々は、レーザー増幅器励起領域の軸に対して異なる角度を形成し、そして異なる箇々の光路が、励起領域を通り個々のパルスの異なるパルスを伝送する。パルス列コンプレッサが、個々の増幅したパルス間のシリーズの遅延時間を除去する。光伝送システムが、増幅したパルスをターゲット上の共通のロケーションに送り、それによってX線が放射されるプラズマを形成する。更に角度エンコーダは、第1の焦点距離に焦点を有している凸レンズと、第2の焦点距離に焦点を有している凹レンズとを具備してもよい。この場合、第2の焦点距離は、第1の焦点距離よりも少なく、そして凸レンズ焦点は凹レンズ焦点に実質的に一致している。レーザー増幅器媒体はエキシマーレーザーであればよい。

なお他の実施例では、プラズマ・発生X線源は、時系列に配列されたシリーズの個々のパルスから成るパルス列をつくり出すパルス列発生器を備えている点を開示している。X線源は更に、パルス列が励起領域を通り伝播しているとき、エネルギーがレーザー媒体からパルス列に移される励起領域を有しているレーザー増幅器媒体と、パルス列で構成される個々のパルスの各々をエンコードするパルスエンコーダとを具備している。この源が更に、シリーズの時系列パルスからグ

質にX線が放射されるプラズマを形成せしめるターゲット物質に送る。X線源は更に、テンブレートパルスから一連の連続パルスを発生するパルス列発生器を具備する。この場合、一連の連続パルスは、第1の時間周期よりも大きい第3の時間周期に等しい全継続時間をお有している。このパルス列発生器は、テンブレートパルスを複数の第2のテンブレートパルスに分割するビームスプリッタを具備し、第2のテンブレートパルスが、複数の光路及び少くとも2つの第2のテンブレートパルス間に遅延時間を挿入する光学遅延に沿って伝播する。この光学遅延は複数の光学遅延を具備し、この場合、複数の遅延の各々は、第1の時間周期の整数倍に等しい継続時間を有している。更に、レーザー増幅器媒体は、エキシマーレーザーであればよい。

他の実施例では、時系列に配列しているシリーズの個々のパルスを備えたパルス列を作り出すパルス列発生器を具備しているプラズマ発生X線源を開示している。この場合、個々のパルスはシリーズの遅延時間によって時間的に分離されており、そして個々のパルスの各々は、第1の時間周期に等しい継続時間を有している。このX線源はまた、軸を備え、励起領域を有しているレーザー増幅器媒体を含み、その励起領域は、第2の時間周期に等しい継続時間の間励起したままであり、そして第2の時間周期は第1の時間周期よりも長く、個々のパルスのどれかが、媒体の励起領域内に伝播しているとき、エネルギーがレーザー媒体からパルスに移され、それによって個々のパルスのエネルギー

ループの時間一致 (coincident in time) パルスにパルス列を変換するパルス列コンプレッサと、時間一致パルスをターゲット上の共通のロケーションに送り、それによってX線が放射されるプラズマを形成する光伝送システムとを含む。このパルスエンコーダは、複数の光路を規定する角度エンコーダを具備してもよい。この場合、複数の光路の各々はレーザー増幅器励起領域の軸に対して異なる角度を形成し、そして異なる個々の光路が、励起領域を通りパルス列の個々のパルスの異なるパルスを送る。この角度レコーダは更に、第1の焦点距離に焦点を有している凸レンズと、第2の焦点距離に焦点を有している凹レンズとを具備してもよい。この場合、第2の焦点距離は第1の焦点距離よりも短く、そして凸レンズ焦点は凹レンズ焦点に実質的に一致している。更に、このエンコーダは、偏光によって個々のパルスを識別する偏光エンコーダを具備してもよい。レーザー増幅器媒体はエキシマーレーザーであってもよい。

開示されたプラズマ・発生X線源は、第1のパルス長さを有しているハイパワーパルスレーザーと、第2のパルス長さを有している強力なレーザーパルスを発生するため臨時幅のパルスレーザーを圧縮するパルスコンプレッサとを具備してもよい。この場合、第2のパルス長さは第1のパルス長さよりも小さい。光伝送システムが、この強力なレーザーパルスをターゲット上のロケーションに送り、それによってX線が放射されるプラズマを形成する。ハイパワーパルスレーザー

は、繰返しパルスエキシマーレーザーを具備してもよい。更に、その源は、第3のパルス幅を有しているテンブレートパルスを発生するマスター・オシレーターを含んでもよい。この場合、テンブレートパルスはハイパワーパルスレーザーによって増幅されて、第3のパルス幅にはば等しいパルス幅を有している強力なレーザーパルスを発生する。その源は更にテンブレートパルスをトリミングするパルストリマーを含んでもよい。この場合、パルストリマーは、誘電破壊スイッチまたは可飽和アブソルバー光学スイッチを具備してもよい。

その源は、前記テンブレートパルスをトリムするのにポケルスセル (Pockels cell) 及び偏波器を利用してもよい。そして更にテンブレートパルスを複数の第2のパルスに分けるスプリッタと、複数の第2のパルスが順次にハイパワーパルスレーザーを通過できるように、複数の遅延時間を複数の第2のパルスに与える遅延とを具備してもよい。強力なレーザーパルスを発生させるため複数の第2のパルスを新たに組み合わせるのにパルスアセンブラーを含む構成にしてもよい。逆の光学系が、複数の第2のパルスを、1回以上ハイパワーパルスレーザーを通り順次通過せしめるのに含まれてもよく、そして更に、強力なレーザーパルスを発生するため前記複数の第2のパルスを新たに組み合わせるパルスアセンブラーを具備してもよい。このX線源は更に、複数の第2のパルス立下りパルス及び複数の第2のパルスの立上りパルスを、ある時間周期の間ハイパワーパルスレーザーのゲイン領域でオーバラ

ップせしめる遅延時間を具備してもよく、そしてこれが、ゲイン領域が複数の第2のパルスの多重バス（通過）によって占められている時間周期中に、ゲイン領域からエネルギーの抽出が連続的に行なわれるのを保証する。

このX線源は更に、ハイパワーパルスレーザーのゲイン領域を通る複数の光路を規定する角度エンコーダを具備してもよい。この場合、複数の光路は、複数の第2のパルスがゲイン領域を通り異なる光路角度によって次々に区別され、分離されるように構成される。この源はまた、複数の第2のパルスを、それ等がゲイン領域を通過するとき次々に区別され、分離可能にする偏光エンコーダを含んでもよい。

第2のパルスの長さが第1のパルスの長さより小さく設定されている時第1のパルス長さを有する臨時幅の高エネルギーパルスレーザーを、第2のパルス長さを有する強力なレーザーパルスに圧縮するステップと、そして強力なレーザーパルスをターゲットに導き、それによってX線が放射されるプラズマを形成するステップとからなるX線発生方法が開示されている。

別の方は、第1のパルス長さを有しているパルスでレーザー物質を励起するステップと、第1のパルス長さよりも小さい周期を有している強力なレーザーパルスの形で励起されたレーザー物質からエネルギーを抽出するステップと、その強力なレーザーパルスをターゲットに導き、それによってX線が放射されるプラズマを形成するステップとからなる。

また、第2のパルス長さが第1のパルス長さよりも小さく設定されている時第1のパルス長さを有しているレーザーパルスを発生するステップと、第2のパルス長さを有している強力なレーザーパルスを発生するため臨時幅のレーザーパルスを圧縮するステップと、強力なレーザーパルスをターゲット上のロケーションに送り、それによってX線が放射されるプラズマを形成するステップとからなるX線発生方法が開示されている。この圧縮ステップは更に、テンプレートパルスを発生するステップと、テンプレートパルスを複数の第2のパルスに分けるステップと、パルス列周期をもったパルス列を発生するための複数の遅延時間を与えて複数の第2のパルスを遅延するステップと、第1のパルス長さよりも長い励起周期を有している励起レーザー媒体を通り複数の第2のパルスを順次通過し、したがって第2のパルスのエネルギーを増加するステップと、強力なレーザーパルスを発生するための複数の増加したエネルギーの第2のパルスを新たに組み合わせるステップから構成されてもよい。前記レーザー媒体を通り複数の第2のパルスを順次通過するステップは繰返されてもよい。

レーザーパルスを増幅し時間圧縮する代替方法として、エネルギー蓄積時間を有しているレーザー放射媒体を励起するステップと、パルスが列を成し、その列の各パルスが第1の時間周期に等しい幅をもち、隣接するパルスが第2の時間周期に等しい時間周期だけ離れており、第2の時間周期がレーザー放射媒体のエネルギーを通り複数の第2のパルスを順次通過するステップは繰返されてもよい。

ルギー蓄積時間周期よりも大きくなないパルス列を発生するステップと、レーザー放射媒体を通りパルス列を運ぶステップとからなる方法を開示している。

更に、第1の時間幅を有しているレーザーパルスを発生するステップと、レーザーパルスの最初の時間幅が励起時間周期よりも小さく設定されている場合に励起時間周期に等しい継続時間をもったパルスで励起されるレーザー放射媒体からレーザーパルスにエネルギーを移し、それによってレーザーパルスを増幅するステップと、ターゲット物質を増幅したレーザーパルスで衝突して、X線が放射されるプラズマを発生させるステップと、そしてマクス／X線レジスト基板組合せ体をX線に露出して、基板上に所望のパターンを写すステップの諸段階からなるX線リトグラフィープロセスが開示されている。

#### 図面の簡単な説明

図1は、本発明のレーザープラズマX線源を含んでいるリトグラフィーシステムの例示である。

図2、図2a、図2b、図2c及び図2dは、本発明のレーザープラズマX線源の第1の実施例を示している。

図3は、図2に示したシステムの偏光方向の線図である。

図4、図4a、図4b、図4cは、図2のビームスプリッタ組立図を例示している。

図5は、パルスがエキスパンダー／レデュサレンズ組立図に入る前に現われるようなパルスの線図である。

図6及び図6aは、図2のビームエキスパンダー／レデュサレンズ組立図の大図を示している。

図7は、パルスがレーザー増幅器を通り第1のパルス後に現われるようなパルスの線図である。

図8、図8a及び図8bは、図2のシステムの1パルス片によって進行される光路を例示している。

図9は、増幅器を通り第2のパルスの線図である。

図10は、図2の偏光成分再結合組立図に入る前のパルスの線図である。

図11は、図2の偏光成分再結合組立図の側面図である。

図12、図12a及び図12bは、本発明の第2の実施例を例示している。

図13、図13a、図13b及び図13cは、図12に示したビームスプリッタ組立図の大図を示している。

図14は、パルスの進行方向に沿って見たときの図13の組立図を出た後のパルスのビームアレイの線図である。

図15、図15a及び図15bは、図12のライン15-15に沿って見たときの第1のセットの遅延鏡の図を示している。

図16は、図12のライン16-16に沿って見たときの典型的光路の図である。

図17及び図17aは、図12に示したビームエキスパンダー／レデュサ組立図の大図を示している。

図18、図18a、及~~18~~18bは、図12のライン18-18に沿って見たときの第2のセットの遅延鏡の図を示している。

図19A、図19B、及び図19Cは、図12のシステムのコンパクトな配置を示している。

#### 発明の詳細な説明

図1に示したように、本発明の1実施例は、X線リトグラフィーシステムに使用する増幅したレーザーパルス発生器10を備えている。そのようなシステムでは、レーザーパルス発生器10は、プラズマターゲット12に焦点を合わせられる短い高いエネルギーのレーザーパルス11を出力する。集束したレーザービーム11に含まれる集中エネルギーがターゲット12を効果的に蒸発し、そして全体的に13で示されたX線が、プラズマ12から放射されるように、ターゲット12を超高温に上昇する。X線13はリトグラフィーストライクチャーチャー14上に入射する。ストライクチャーチャー14は、シリコンのような基板15と、基板15上に位置づけられているX線レジスト16の層と、レジスト16上に位置づけされたマスク17とを含む。マスク17は、パターン19を支持する支持層18を含む。マスク17の支持層18に投射するX線13は、パターン19を有しているこれらのマスク17の領域によって遮断され、そしてパターン19のないマスク17の領域を通り送られる。このようにして、レジスト16に達するX線は、マスク17上のパターン19に対応する感光パターンにレジスト16を感光する。したがって

レジスト16現像される。標準的にはレジスト16への溶剤の作用を含む処理を受けた後レジスト材料は、基板15上にレジストパターンを残すため選択的に除去される。使用するレジスト16のタイプによって、このパターンは、マスクパターン19と同じであるか、またはマスクパターン19の陰画型式である。したがってレジストパターンは、基板に適用されるいくつかの次のプロセスを制御するのに使用される。

マスク上のパターンが、X線光学装置を用いて基板をカバーしたレジスト上に投射される形式を含む他の形式のX線リトグラフィーもまた公知である。この形式のX線リトグラフィーもまた、本発明の技術から利益を得るであろう。

本発明によって構成されたレーザープラズマX線源システム20が図2に示されている。このシステム20は、全体的に22で示されていたマスター・オシレーター・レーザー22を含む。マスター・オシレーター・レーザー22の次に、ポケルス(Pockels)セル28と、偏光ビームスプリッタ30とを具備するパルスライサー26がある。当業者は、他の形式の光学的スイッチがマスター・オシレーター・パルスをトリムするのに使用できることは判るであろう。たとえば、絶縁破壊スイッチまたは、可饱和アブソルバースイッチが適している。システム20はまた、偏光ビームスプリッタ36と、3つの反射鏡38、40及び42とを具備している偏光成分(Component)シフタ組立体34とを含む。2つの非偏光ビームスプリッタ52、54と、

鏡56とを具備している光路スプリッタ組立体50が、シフタ組立体34の次に位置づけされている。複数の順方向遅延路が、組立体50と、エキスパンダー/レジューサレンズ組立体80との間に配置されている。エキスパンダー/レジューサレンズ組立体80は、一般的にガリレアン(Galilean)テレスコープと呼ばれる相対的位置の凸レンズ84と組合せた凹レンズ82を具備している。ゲイン領域92を有しているレーザー増幅器90が、第1のエキスパンダー/レジューサ組立体80と、第2のエキスパンダー/レジューサ組立体100との間に位置づけられている。エキスパンダー/レジューサ組立体100は、組立体80に類似しているが、逆のレンズ順位を有している。組立体100は、凸レンズ102と、これに続く凹レンズ104とを具備している。複数の旋回鏡110が、第2のエキスパンダー/レジューサ組立体80と、偏光成分再結合組立体130との間に位置づけられている。集束レンズ140及び鏡142が、再結合組立体130とターゲット144との間に位置されている。

作動において、マスター・オシレーター22が、ほぼ3ナノ秒よりも長い継続時間を有しており、図2aに例示された24で示されたレーザーパルスを出力する。ビーム24は偏光され、かつ図3に示された偏光方向25を有し、これは水平軸23に対して45度の角度にある。ポケルスセル28に入ると、ビーム24は、

偏光が、垂直軸27に対して45度であるベクトル29によって表わされるように、偏光のとき90度回転される。当業者は知られているように、ポケルスセル28の電極上の電圧をアースすると、偏光方向の90度回転を除き、それによりビーム24の偏光方向25をふたたびその最初の偏光方向25に変化する。偏光ビームスプリッタ30は、それが、偏光方向29を遮断、すなわち反射し、そして偏光方向25を通過、すなわち送るように、方向づけられる。したがって、ポケルスセル28がアースされたとき、ビーム24は、偏光ビームスプリッタ30を通過する。特定の時間周期の間、たとえば、3ナノ秒の間、ポケルスセル28の電圧をアースすることにより、ポケルスセル28及び偏光ビームスプリッタ30は、高速シャッターとして機能し、そして図2bに示した好みの3ナノ秒繰り返し時間テンプレートパルス32にマスター・オシレーター22の出力ビーム24をトリムする。テンプレートパルス32は、ある時間t1に始まり、そしてt1とt2との差が3ナノ秒、すなわちt2-t1が3ナノ秒であるように、ある時間t2で終り、そして強さレベルAを有している。パルスライサー26を出た後、テンプレートパルス32は次に、偏光成分シフタ組立体34に入る。図3を参照すると、組立体34は、水平及び垂直軸23及び27によって規定された主な偏光方向を有している。更に特定的には、偏光ビームスプリッタ36は、それが偏光方向を有しているパルスを反射し、そして偏光方向27を有するパルスを送る

ようく方向づけられる。組立体 3 4 及びビームスプリッタ 3 6 に入るテンプレートパルス 3 2 は、主たる偏光方向 2 3 及び 2 7 に対して 45 度の角度にある偏光方向を有している。ベクトル 2 5 は、合成ベクトル 2 5 を作るベクトル和の原理により加えられる。水平偏光方向 2 3 の偏光成分 2 5 x 及び垂直偏光方向 2 7 の成分 2 5 y を有している。テンプレートパルス 3 2 が、上述のように、かつ図 2 c に示されたように、偏光方向 2 3 及び 2 7 を有しているビームスプリッタ 3 6 に入るとテンプレートパルス 3 2 は、同じ強さを有しているが、ベクトル成分 2 5 x 及び 2 5 y によって表わされた直角偏光方向を有している 2 つの別々のパルス 4 4, 4 6 に分けられる。ビームスプリッタ 3 6 を通過する偏光 2 7 の方向の偏光成分 2 5 y を有しているパルス 4 4 は通過する。成分 2 5 x を有しているパルス 4 6 は、ビームスプリッタ 3 6 によって反射される偏光方向 2 3 にあり、したがってそのパルスはまたビームスプリッタ 3 6 によって反射される。

反射したパルス 4 6 は、鏡 3 8, 4 0 及び 4 2 によってビームスプリッタの周りに導かれる。鏡 3 8, 4 0 及び 4 2 は、反射パルス 4 6 をその継続時間にはほぼ等しい時間周期、すなわち 3 ナノ秒間隔をもつて十分なトラベル距離を反射パルス 4 6 に与えるように位置づけられている。3 ナノ秒の遅延は、ほぼ 3 フィートの追加のトラベル距離を必要とする。その遅延がパルス継続時間に等しいとき、第 2 の、または反射パルス 4 6 が、通過したパルス 4 4 のすぐ後で組立体

3 4 を出る。そしてパルス列 4 8 が形成される。したがって、ビームスプリッタ 3 6 を出るパルス列 4 8 は、図 2 d に示したように、直角の偏光方向を有している 2 つの 3 ナノ秒パルス 4 4 及び 4 6 より成っている。その図及び以下に示した他の図のパルス間に示されたギャップは、パルス間を区別する例示的目的のみであって、いかなる特定の時間分離を表わす意図を有していない。

次にパルス列 4 8 を具備する 2 つのパルス 4 4, 4 6 は、図 4 に拡大して示されたビームスプリッタ組立体 5 0 に遭遇する。それは、以下に説明するように、ほぼ等しい強さの 4 つのパルス片を発生する。パルス列 4 8 は、図 4 a に示したように、強さ B で組立体 5 0 に入り、そして最初にビームスプリッタ 5 2 に遭遇し、それが列 4 8 を 2 つのパルス片 4 9 a 及び 4 9 b に分け、そしてその強さを約 2 のファクタだけ減少する。図 4 b に示したように、パルス片 4 9 a は、直角の偏光方向を有している 2 つの 3 ナノ秒パルスの 6 ナノ秒列を具備する。パルス片 4 9 b は、図示のように 4 9 a のパルス片と同じである。パルス片 4 9 b はそれからビームスプリッタ 5 4 の方に導びかれ、ここでパルス片 4 9 b は、各々がパルス片 4 9 b の強さの半分を有している更に 2 つのパルス片 5 1 a 及び 5 1 b に分けられる。パルス片 5 1 b は、遠く離れた右の方に示されたパルス片 7 4 として組立体 5 0 を出る。パルス片 5 1 a は、鏡 5 6 に当たり、そして 90 度偏光され、それからパルス片 7 2 としてその組立体

を出る。パルス片 4 9 a は鏡 5 6 に当たり、ここでパルス片 4 9 a は第 2 のビームスプリッタ 5 4 の方に 90 度だけ偏光される。パルス列 4 9 a がビームスプリッタ 5 4 に入ると、パルス列 4 9 a は、パルス片 5 1 a 及び 5 1 b に等しい更に 2 つのパルス列 5 3 a 及び 5 3 b に分かれる。それから、パルス片 5 3 a は、遠く離れた左の方のパルス片 7 1 としてその組立体を出る。パルス片 5 3 b は鏡 5 6 に当たり、そしてそれがパルス片 7 3 としてその組立体を出るように 90 度偏光される。図 4 c に示したように、パルス片 7 1 は、2 つの 3 ナノ秒パルスの 6 ナノ秒列を具備し、かつ約 1/4 及び約 B/4 の生じた強さに全体の強さに対して強さを 2 倍減少される。組立体 5 0 のビームスプリッタ 5 2 及び 5 4 は、非偏光であるから、パルスの偏光方向は影響されない。したがってパルス片 7 1 は、更に 2 つの 3 ナノ秒パルスを具備しており、この場合に、各パルスは直角の偏光方向である。組立体 5 0 によって作られた他のパルス片 7 2, 7 3 及び 7 4 は、図示のようにパルス片 7 1 に等しい。

図 2 に示したように、ビームスプリッタ組立体 5 0 を出た後、パルス片 7 1, 7 2, 7 3 及び 7 4 は、鏡 6 0 乃至 6 9 を具備している複数の順方向遅延光路に遭遇する。各遅延路は異なる長さを有しており、これが、パルス片 7 1, 7 2, 7 3 及び 7 4 がエキスパンダー／レデューサ組立体 8 0 及びレーザー増幅器 9 0 の方に進むにしたがって異なる遅延を挿入する。遅延の値は、組立体 5 0 によって作られた 4 つのパル

ス片 7 1, 7 2, 7 3 及び 7 4 が端と端をつないでスタッカしたレーザー増幅器 9 0 に逐一接するように選ばれる。すなわち遅延は、図 4 においてビームスプリッタ組立体 5 0 を出た後の遠く離れた左に示されたパルス片 7 1 が、最小の遅延量を受けとり、遠く離れて右に示されたパルス片 7 4 が最大の遅延を受けとるように構成されている。図 5 は、列 7 0 が組立体 8 0 に入るときの、パルス片 7 1, 7 2, 7 3 及び 7 4 を具備している列 7 0 を例示している。このようにして、レーザー増幅器 9 0 は、鏡 6 0 乃至 6 9 を具備している遅延光路を用いてスタッカされた 4 つの 6 ナノ秒パルス片 7 1, 7 2, 7 3 及び 7 4 で構成された長さ 24 ナノ秒の連続パルス列 7 0 を受けとる。増幅器 9 0 に入る前に、パルス列 7 0 は、エキスパンダー／レデューサ組立体 8 0 を通過する。

図 6 の拡大図に示したように、エキスパンダー／レデューサ組立体 8 0 は、凹レンズ 8 2 が凸レンズ 8 4 よりも短い焦点距離をもつ凸レンズ及び凹レンズ対を具備している。レンズ 8 2, 8 4 は、レンズ 8 2, 8 4 の焦点が一致するように間隔をもつて配置されている。パルス列 7 0 は、レンズ 8 2, 8 4 の光軸 8 7 に対して 4 つの別箇の角度で 4 つの別々の平行光線ビームで凹レンズ 8 2 に入る。凸レンズ 8 2 を出ると、4 つのビームはなお、それ等自身に対して平行である光線を具備しているが、このとき各ビームは、それが組立体 8 0 に入る前よりも広くなっている。そして各ビームはこのとき光軸 8 7 に対して第 2 の小さい角度を有

している。レンズ 82, 84 の特性により、高さ及び幅は、レンズ 82, 84 の焦点距離の比に等しいファクタだけ増加される。そして角度変化は幅の変化に反比例している。下記に説明したように、ビーム角度及び大きさのこれらの変化の複合効果は、増幅器 90 外の与えられたセットの光路長に対する、増幅器 90 内のビーム角度の予期以上の大きな正味減少である。たとえば、ビーム幅にファクタ 2 の変化を生ずるビームエキスパンダー／レデューサ組立体 80 の使用は、増幅器ゲイン領域 92 のビーム間に 4 のファクタの角度減少となり、したがって増幅器 90 を通る多くの角度のあるビームへの適合をより容易にする。

たとえば、図 6 a に示したように、パルス片 71 は光路 75 に沿って進行する。パルス片 71 は、平行光線の視準したビーム具備し、かつ光線 77 及び 79 によって規定された幅を有している。パルス 71 は、光軸 87 に対して角度  $\alpha_1$  で凹レンズ 82 に入り、かつ幅 W1 を有している。パルス 71 が凸レンズ 84 を出るとき、それは、 $\alpha_2$  が  $\alpha_1$  よりも小さいよう、光軸 87 に対して角度  $\alpha_2$  を有している。更に、出て行くパルス 71 は、凹レンズ 82 への入口における高さ及び幅 W1 よりも大きい高さ及び幅 W2 を有している。レンズ組立体 80 に入る 1 つのパルス片 71 のみが示されているけれども、当業者は、レンズ組立体 80 の効果は、列 70 の残りのパルスに対しても同じであることは判るであろう。

レーザー放射媒体からのエネルギーの有効な抽出の

ため、増幅器 90 のビーム幅及び高さは、ゲイン領域 92 の幅及び高さにはほぼ等しくなければならない。入りパルスによって行なわれるビーム幅の増加は、増幅器 90 外のより小さいビーム寸法を可能にする。増幅器外のより小さい寸法は、鏡 63, 67, 68, 69 がより小さくなり一緒に接近できるので、ビーム光路の角度を減少する。これらの小さいビーム光路角度は、更にパルスがエキスパンダー／レデューサ組立体 80 を通り、レーザー増幅器 90 内に送られるとき、減少されるので、エキスパンダー／レデューサ組立体 80 を使用しない構成に比べて、増幅器 90 におけるビーム光路の角度の最終的減少は非常に重要である。ふたたび図 2 を参照すると、増幅器 90 のゲイン領域 92 の内で、パルス 70 は、刺激放射プロセスによって増幅される。増幅器 90 は、パルス 70 が増幅器 90 を出るとき、それ等のパルスが BG/4 のレベルまで強さを増加させるよう順方向ゲイン G を有している。図 7 に示したように、増幅器 90 を去るパルス 70 の偏光及び伝播方向は変わらない。

図 2 に示したように、増幅器 90 を出ると、パルス 70 は、組立体 80 と同じであるがレンズの順序が逆であるエキスパンダー／レデューサ組立体 100 を通過する。すなわち増幅器 90 を出ると、パルス 70 は最初に凹レンズ 102 を通過し、それから凸レンズ 104 を通過する。これは上記のプロセスと逆であり、そしてパルス 70 は、組立体 100 を出ると、幅を減少し、光路間に大きな角度を有している。組立体

100 外のより小さいビーム寸法は、旋回鏡 110 がより小さく、接近できるので、より小さいビーム光路角度に寄与する。増幅器 90 から旋回鏡 110 までの距離は、以下に説明するように、タイミングの制約によって固定される。

組立体 100 を出た後、パルス 70 はすべて旋回鏡 110 へ、そしてふたたび旋回鏡から同じ距離を進行する。鏡 110 への距離は、パルス列の立下り区間が、増幅器 90 を通りその第 1 のバスを完了する前に、パルス列の立上り端が第 2 のバス上の増幅器 90 のゲイン領域 92 内に十分に入るよう選ばれる。このようにして、ゲイン容積は、この周期中のマスター・オシレーターからの刺激放射線で完全に満たされるので、殆どの 48 ナノ秒間に連続的にエネルギーが増幅器 90 から挿出できる。

鏡 110 が、各々のパルス片の向きを変えるので、増幅器 90 を通る第 2 のバスのとき、各々のパルス片は、増幅器 90 を通る第 1 のバスのときとった光路と異なる光路に沿って進行する。図 8 は、典型的なパルス片 71 によって進行される光路を例示している。図 8 a に示したように、パルス片 71 は、59 で示され、かつ矢印によって示された遅延路を進行する。遅延路 59 は、パルス片 71 を所定の角度、ビームエキスパンダー／レデューサ組立体 80 の方に偏向する他の鏡 63 にパルス片 71 を導く鏡 56 の後で始まる。パルス片 71 は組立体 80 を通り進行し、ここでパルス片 71 は上記に説明したように、角度を減少され幅

を増加される。パルス片は、レベル BG/4 に強さを増加され、増幅器 90 のゲイン領域 92 を出て、レンズ組立体 100 を通り進行し、このレンズ組立体 100 が光路の角度を増加し、かつパルス片 71 のビーム寸法を狭くする。それからパルス片は、鏡 114 に当たり、ここでパルス片は鏡 112 の方に偏向される。鏡 112 は、それがパルス片 71 を、レンズ組立体 100、レーザー増幅器 90 及び組立体 80 を通って鏡 69 の方に後方に偏向されるように角度が付けられている。

図 2 を参照すると、増幅器を通る第 2 のバスのとき、レンズ組立体 100 は、第 1 のバスのときの組立体 80 と同じように機能する。すなわち入ビームは広げられ、角度を減少されるので、それ等のビームは増幅器 90 のゲイン領域に適合する。パルスは、強さの第 2 の増加を経験する。図 9 に示したように増幅器 90 を出るとき、パルスが強さ  $BGG'/4$  を有するよう、ゲイン領域 92 は反対方向に第 2 のゲイン G' を有している。増幅器 90 を出た後、パルスは組立体 80 を通過し、これがビーム光路間の角度を拡大し、そしてビームの寸法を減する動きをする。

組立体 80 を去ると、各パルス片 71, 72, 73 及び 74 は、異なる長さで異なる光路に沿って進行する。この光路は、67 乃至 69 及び 121 乃至 126 の鏡を具備し、かつ前に最小の遅延を受けとったパルス片に最も遅延が与えられるように構成されている。同様の方法で、前に最長遅延を与えられたパ

ルス片に最小遅延が与えられる。たとえば、図8をふたたび参照すると、前に最小遅延を受けとった戻りのパルス片71の遅延路が118で示されている。図8bに示されたパルス片71は、レンズ組立体80から出て、鏡69に遭遇する。鏡69がパルス71を鏡121の方に偏向する。鏡121はパルスを鏡125の方に偏向し、この鏡125がパルスを偏光再結合器130の方に偏向する。

したがって、第2のセットの遅延路を進行後、パルス片71, 72, 73及び74はすべてビームスプリッタ組立体50のそれ等のパルスの起源から同じ全距離を進行し、そしてすべての4つの6ナノ秒パルス71, 72, 73及び74は同時に偏光成分(Component)再結合組立体130に到達する。組立体130に入るときのパルス71, 72, 73及び74が図10に例示されている。遅延光路は、パルス71, 72, 73, 74が時間的に一緒に進行するようになり時間的なすべての分離を除去される。更に、パルス71, 72, 73, 74は、遅延及び増幅プロセス中に不变のままである交代偏光方向を有している。パルスは、第2のバス後、増幅器を出るときBGG'／4の強さレベルを有しており、したがって組立体130に入るとき同じ強さレベルを有している。

組立体130の側面図が図11に示されている。図3及び図11を参照すると、組立体130は、偏光シフタ組立体34に類似しているが、ビーム軸の周りに90度回転されるので、シフタ組立体34から遅延を

受けとった偏光成員5xは、前の末遅延の偏光成員25yがビームスプリッタ132の周りに長さ3フィートの光路に追従する必要がある間に通過することが許される。換言すると、偏光ビームスプリッタ132は、90度回転されるから、それは偏光方向23を有するパルスを通して、そして偏光方向27を有しているパルスをロックする。各パルス片71, 72, 73及び74は、直角の偏光方向を有している1対のパルスを具備している。対の第1のパルスは偏光方向27を有し、そして第2のパルスは偏光方向23を有している。各々の対が組立体130を通過するとき、第1の2つの3ナノ秒パルスは、2つの成分が互いに重なり、そして組立体130に存在する4つの平行な光路の各々の上に1つの3ナノ秒パルスを形成するよう丁度十分な長さだけ遅延される。

図2に示したように、すべての4つのパルスは、集束レベル140及び鏡142に同時に到達する。これらのパルスは、ターゲット144上の同じ点に焦点を合わせられる。ターゲット144上に焦点を合わせられたパルスの集中エネルギーがターゲット物質を効率的に蒸発して、その物質を蒸発原子が多重イオン化されるようにな超高温度まで上昇し、そして自由電子がプラズマ内のイオンに再結合するとき、X線が放射される。

本発明の他の実施例が図12に示されている。システム150は、光学スイッチ160が後に続いているマスター・オシレーター・レーザー155を具備している。組立体170は、2つのビームスプリッタ172及び

174を具備し、そして鏡176がスイッチ160の次に位置づけされている。2つの他の鏡180及び182が組立体170に続いている。鏡190乃至199を具備している複数の順方向遅延光路が、鏡182とエキスパンダー／レデューサレンズ組立体210との間に配置されている。組立体210は、凹レンズ212と、その後にある凸レンズ214とを具備している。ゲイン領域222をもつレーザー増幅器220が、組立体210と第2のエキスパンダー／レデューサレンズ組立体230との間に位置づけされている。組立体230は凸レンズ232と、その後の凹レンズ234とを具備している。240乃至244で示された複数の旋回鏡がレンズ組立体230に続いている。鏡197乃至199及び250乃至256を具備する複数の逆遅延光路が、レンズ組立体210と2つの鏡260及び262との間に配置されている。集束レンズ266が鏡260及び262の後に続いている。鏡268が、集束レンズ266とターゲット270との間に位置づけされている。

マスター・オシレーター155は、全体的に156で示されたレーザービームを出力する。図12aに例示したように、ビーム156の断面は全体的に長方形であり、そしてビーム156の中央の方に配置された中空部分158を有している。光学的スイッチ160は、それが中空部分158をロックし、そしてマスター・オシレーター155からのビーム156を、図12bに例示した平行な光路内を進行する2つの別箇のビーム

162及び164に分離するように構成されている。光学的スイッチ160は更に、第1の実施例のように、各ビーム162, 164を好みの3ナノ秒長さのテンプレートパルスにトリムするのに役立っている。光学的スイッチを出た後、テンプレートパルス162, 164はなお互に平行であり、そして平行な光路に沿って進行する。テンプレートパルス162によって進行される1つの光路のみが示されているけれども、当業者は、テンプレートパルス162, 164が平行平面内に進行するように、他の光路が第2のテンプレートパルス164によって進行され、そして進行方向に沿って見たときビームアレイが図12のインセットに示したようであることは判るであろう。

図13に拡大して示されたビームスプリッタ組立体170に入るとき、テンプレートパルス162及び164は上記のように平行な光路内を進行する。以下に説明するように、ビームスプリッタ組立体170が各入ってくるテンプレートパルス162, 164から4つのパルスを生ずる。すなわち組立体170から長さ及び強さの同じである合計8つのパルスを生ずる。組立体170の効果を入バルステンプレート162を参照して説明する。しかしながら、組立体170の効果は、平行平面内を進行する入テンプレートパルス164上で同じである。テンプレートパルス162は図13aで示したように強さCで入り、そして最初にテンプレートパルス162を2つのパルス163a及び163bに分けるビームスプリッタ172に遭遇し、

そして強さを約2つのステップだけ減少する。したがってパルス163aは図13bに示したように約C/2の強さを有する。パルス163bはパルス163aと同じである。それからパルス163bはビームスプリッタ174に入り、ここでパルス163bはふたたび2つのパルス165a及び165bに分けられ、そして1/2だけ強さを減少される。それからパルス165bはパルス177として遅く離れた右方で組立体を出る。パルス165aは鏡176で90度偏折され、それからパルス173として組立体を出る。パルス163aは、ビームスプリッタ174の方に90度鏡176から偏折され、このビームスプリッタ174でパルスは2つのパルス167a及び167bに分けられ約1/2だけ強さを減少する。パルス167bはパルス175として組立体を出る。パルス167aは鏡176に遭遇し、90度偏折されて、パルス171として遅く離れた左で組立体を出る。組立体を出た各パルスは、ビームスプリッタによって強さを2倍減少され、各々パルスに減少を生じてそれが入るととき強さレベルの約1/2で出る。各パルスは強さレベルCで始まるので、生じた強さレベルはこのとき約C/4である。組立体を出た後のパルス177が図13cに示されている。残りのパルス171, 173及び175は同じである。その組立体の効果は、図12及び16の平面に平行な平行内でパルス162に平行な光路を進行するパルス164を入れると同じである。パルス164は、各々が3ナノ秒維持時間及び約C/4の

強さレベルを有して、4つのパルス181, 183, 185及び187で組立体を出る。図14は、パルス進行方向に沿って見たとき、組立体170を出た後パルスのビームアレイを示している。これらのパルスは、1つの平面の4つの平行路と、第1の平面の下に配置された第2の平面の4つの平行路との8つの異なる光路に沿ってタイミングを合せて一緒に進行する。この場合、第1及び第2の平面は平行である。

次にこれらのパルスは1対の鏡180及び182に遭遇する。図12のライン15-15に沿って見た図15に示したように、下方の平面内を進行するパルス181, 183, 185及び187は鏡182に遭遇し、そして鏡180の方に上方に偏折される。パルスが鏡180に達すると、それ等のパルスは、ふたたびトラベルのオリジナルの2つの平面に対して平行に、第3の平面に偏折される。たとえば、図15aに示されたパルス171は、光路171'に沿って進行し、そして図15bに示されたパルス181は光路181'に沿って進行する。パルス181は鏡182に遭遇し、そして鏡180の方に後方に偏折される。鏡180は、パルス181を光路181'によって表わされた方向に偏折する。鏡180及び182は、パルス181の入り光路181'及び出光路181'が平行であるように角度が付けられている。したがって、鏡180, 182は、パルス171, 173及び177に対してパルス181, 183, 185及び187を遮延し、かつまたパルス181, 183,

185及び187を、パルス171, 173, 175及び177により進行される平面の前方及び平行な他の平面に移す。

鏡180及び182を通過後、パルスは、鏡190乃至199を具備しているグループの順方向運延光路に遭遇する。鏡190, 197, 198及び199は、二重(double)鏡であり、これらの鏡は、鏡に入射する2つの平面の各々からのパルスが収斂する平面に偏折されるように互に僅かな角度を有している。これらの二重鏡は、これらの平面が増幅器のゲイン領域内で収斂し、そして両方の平面上を進行するパルスが、第1の実施例のときのように、逐次ゲイン領域に入るよう構成されている。

図12の線16-16に沿って見た図16が、入パルスへの二重鏡の効果を最もよく例示している。この図では、ライン181'及び171'は、それぞれパルス181及び171によって進行される入光路を表わしている。パルス171が時間的にパルス181よりも先に進行するように、鏡180及び182が、パルス171に対してパルス181に遮延を挿入することを想起されたい。光路181'は、光路171'に対して上方の面にあり、かつ光路171'に平行である。パルス181が二重鏡199の頂部の鏡200に接触すると、パルスは、エキスパンダー/レデューサ組立体210の方にライン202に沿って偏折される。同様の方法で、パルス171は二重鏡199の底部鏡201に接触すると、組立体210の方にライン

204に沿って偏折される。光路202及び204はこのとき収斂する平面内にある。鏡201及び202は、光路202及び204が増幅器220のゲイン領域222内に収斂するように位置づけされている。このようにして、パルス171はゲイン領域222を通過し、その後パルス181がこれに続く。パルス171, 173, 175, 177, 181, 183, 185及び187が、端と端をつないでスタックした連続パルス列で増幅器220のゲイン領域222に入るよう、鏡190, 197及び198の正しい位置づけは他のパルス173, 175, 177, 183, 185及び187に同じ効果を生ずる。

図17を参照すると、レンズ組立体210が拡大して示されている。レンズ212及び214は、レンズ212及び214の焦点が一致するように位置づけされている。組立体210内の凸レンズ212と、これに続く凹レンズ214との組合せは、入ビーム路間の角度を減少するのに役立ち、一方また、ビームがレーザーゲイン領域222を通り進行するときビームの幅の増加を生じ、増幅器外のビームの小さい幅及び高さを増幅器220内のゲイン領域222にぴったり適合可能にするのに役立つ。たとえば、図17aに示されたパルス171は、光路203に沿って凹レンズ212に入り、そして平行光線の標準化したビームを具備し、その幅は光路204及び205により規定される。パルス171は、光路206に対して第1の角度 $\beta_1$ で凹レンズ212に入り、そして幅 $d_1$ を有して

の寸法を減少して、ビーム路間の容易な区別を可能にする。

組立体 230 を出た後、パルス 171 は、 $\beta_2$  が  $\beta_1$  よりも小さいように光軸 206 に対して角度  $\beta_2$  を有している。更に、パルス 171 はこのとき、レンズ 214 を出ると、d1 よりも大きい幅 d2 を有している。レンズ 212, 214 の特性により、角度の変化は、入ビームの幅の変化に反比例する。レンズ 212 及び 214 の効果は、他の入パルス 173, 175, 177, 181, 183, 185 及び 187 に対すると同じである。したがって、多くの角度のあるビームを、増幅器 220 のゲイン領域 220 への適合を容易にする。

ふたたび図 12 を参照すると、ビーム路間の角度減少は更に、8つの別々の光路が、ゲイン領域 222 内の電極に当たることなく増幅器 220 を通り適合するのを保証する。電極に当たることは、エネルギーがビームから失われ、かつ電極によって遮蔽されたゲイン領域 222 の部分ビームで満たされないので不利である。ゲイン領域 222 内で、パルスは刺激放射 (stimulated emission) のプロセスによって増幅される。増幅器 220 は、パルスが増幅器を出るとき、それ等のパルスが約 CFF' / 4 のレベルに強さを増加されるよう、F の順方向ゲインを有している。増幅器 220 を出ると、それからパルスは第 2 のエキスパンダー／レデューサレンズ組立体 230 に遭遇する。レンズ組立体 230 は、組立体 210 の効果の逆である。凸レンズ 232 の後に凹レンズ 234 があり、したがってこの組合せはビーム路間の角度を増加し、ビーム

られそして減少される。ゲイン領域 222 は、増幅器 220 を出るときパルスが強さ CFF' / 4 を有するように、第 2 のバスのとき第 2 のゲイン F' を有している。増幅器 220 を出た後、パルスは組立体 210 を通過する。これはこのときビーム路間の角度を拡大し、そしてより小さい角度が戻り遅延路を分離するのに使用できるようにビームの寸法を減少する働きをする。

組立体 210 を去ると、パルスは、鏡 197, 198, 199 及び 250 乃至 256 で構成された逆遅延路に沿って進行する。逆遅延路は、最長の遅延が、前に最小の遅延を受けとったパルスに与えられ、したがって最大の遅延を受けとったパルスが最小量の逆遅延を与えられるように構成されている。このようにして、第 2 のセットの遅延路を進行後、パルスはすべて遅延路の同じ全距離を進行する。すなわち、パルス 171, 173, 175 及び 177 は、タイミングを合せて平行に進行し、同様にパルス 181, 183, 185 及び 187 はタイミングを合せて平行に進行する。しかしながらグループのパルス 171, 173, 175 及び 177 は、3 ナノ秒の遅延時間だけグループのパルス 181, 183, 185 及び 187 から離される。

パルスは、8つの光路の合計 8 つのパルスに対して、2 つの平行平面の 8 つの異なる光路に沿って鏡 260 及び 262 に達する。鏡 260 及び 262 は、鏡 180 及び 182 の効果の逆である。鏡 262 上に入

射するパルスは、トラベルのオリジナル平面に対して平行な平面の方に偏向される。たとえば、図 12 のライン 18-18 に沿ってみた図 18 に示したように、図 18a に示されたパルス 171 は、光路 261 に沿って進行し、一方図 18b に示されたパルス 181 は、光路 263 に沿って進行する。パルス 171 は、鏡 260 上に入射し、そして鏡 262 の方に後方に偏向される。鏡 262 は、光路 265 によって表わされた方向にパルス 171 を偏向する。この場合、光路 265 は光路 261 及び 263 の双方に平行である。このようにして鏡 260 及び 262 は、遅延パルス 171, 173, 175 及び 177 により鏡 180 及び 182 によってパルス 181, 183, 185 及び 187 に押入された遅延を補償することができる。したがって、鏡 260 及び 262 を出た後、パルスはすべて、各平面に 4 つの光路がある 2 つの平行平面内の 8 つの光路に沿ってタイミングに合せて一緒に進行する。

ふたたび図 12 を参照すると、パルスは次に、第 1 の実施例のときのように、プラズマターゲット 270 に入パルスの焦点を合わせる集束レンズ 266 及び鏡 268 に遭遇する。このプラズマターゲットでパルス内に含まれた集中エネルギーがターゲット物質を蒸発し、そして X 線が放射される。

図 19A, 図 19B 及び図 19C は、コンパクトな構成 300 の第 2 の実施例のシステム 150 を示している。この構成は、システム 150 の長い遅延光路に

よって課せられる物質的制限を克服する。構成 300 では、鏡 275 は、鏡 180 及び 182 の後のパルスを、277 乃至 284 で示したグループの鏡の方に導く。二重鏡 290 及び単一の鏡 291 及び 292 を具備しているグループの鏡が、鏡 277 乃至 284 の側部に位置づけされている。単一の鏡 293 乃至 296 を具備する他のグループの鏡が、鏡 290, 291 及び 292 の反対の鏡 277 乃至 284 の側部に配置されている。個々の鏡 280 乃至 296 を具備している 3 つのグループの鏡は、光学的遅延を挿入及び除去する働きをする。4 つの他の鏡 285, 286, 287 及び 288 は、パルスを順方向光学的遅延から、増幅器 220 へ、それから旋回鏡 241, 242, 243, 244 及び 246 上に導く。旋回鏡は上述の方法でパルスの方向を変え、それからパルスは、鏡 285, 286 及び 288 によって、レーザー増幅器 220 を通り逆の遅延光路に導かれる。逆の遅延路に沿って進行後、パルスは鏡 276 によって鏡 262 の方に、それからターダゲット 270 の方に導かれる。

本発明のレーザープラズマ X 線源は、写真平版システムによって使用される。図 1 を参照すると、X 線ビームは、ビームがパターン 19 を有しているマスク 17 上に入射するように位置づけされる。この X 線は、パターン 19 のないマスク 17 の部分を通り、そして基板 15 上のレジスト層 16 の X 線感光部分に送られる。次に現像処理が、マスク 17 のオリジナルパターン 19 に整合したパターンのレジスト 16 の部分を除

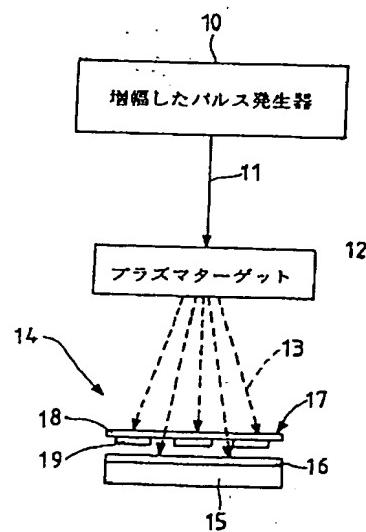
去する。

上記実施例のどの使用にも適している 1 つのクラスのレーザー増幅器は、一般的にディスチャージド・ポンプド・レーザーと言われる。そのようなレーザーの 1 例は、レーザー放射媒体の作用物質としてキセノンクロライド (XeCl) を有しているエキシマー (excimer) レーザーである。そのようなエキシマーレーザーの 1 つの特徴は、それ等が、典型的に数ナノ秒程度の非常に短い励起型の (excited-species) 寿命を有していることである。

エキシマーレーザーの励起レーザー放射媒体から抽出されるエネルギー量を最大にし、かつさもなくば励起分子内に蓄積されたエネルギーを急速に消費するむだな衝突に有効に対処するため、励起領域を励起期間の間、マスター・オシレーターからの刺激放射線 (stimulating radiation) で完全に満たしておくのが有利である。これは、パルス列を形成する短いパルス要素が、パルスが増幅器を通過するときの個々のパルス間に残されたギャップを有し、またはギャップなしで、端と端をつないでスタッカードされる上述の実施例に示されている。たとえば、個々のパルスが約 3 ナノ秒だけ離されているパルス列では、各パルスの継続時間もまた約 3 ナノ秒であり、したがってパルス列をもった隣接するパルス間のスペースは僅かに残されるか、全くない。

あるいはまだ、エキシマーレーザー並びに他のタイプのディスチャージド・ポンプド・レーザーの励起型

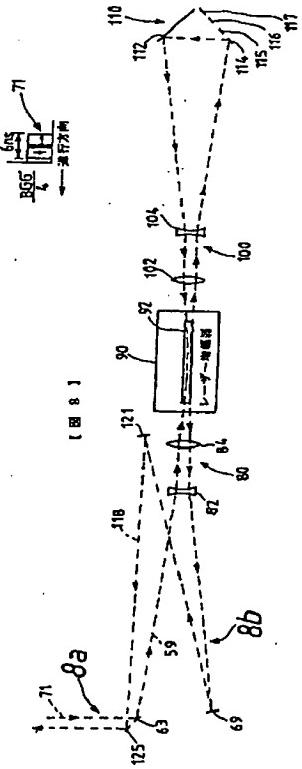
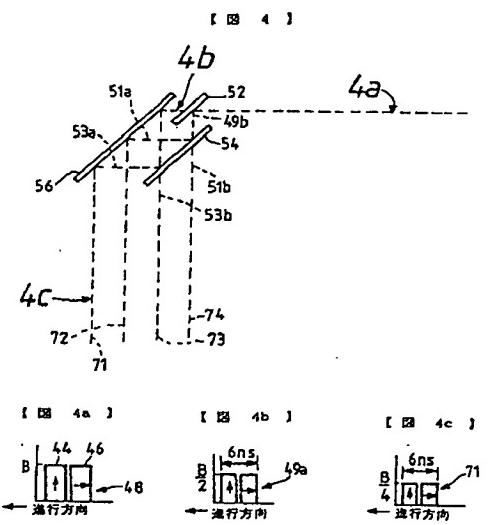
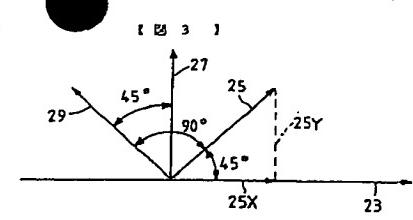
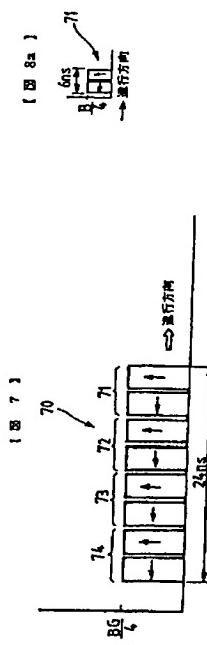
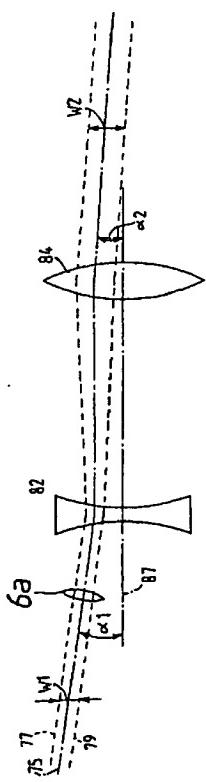
【図 1】

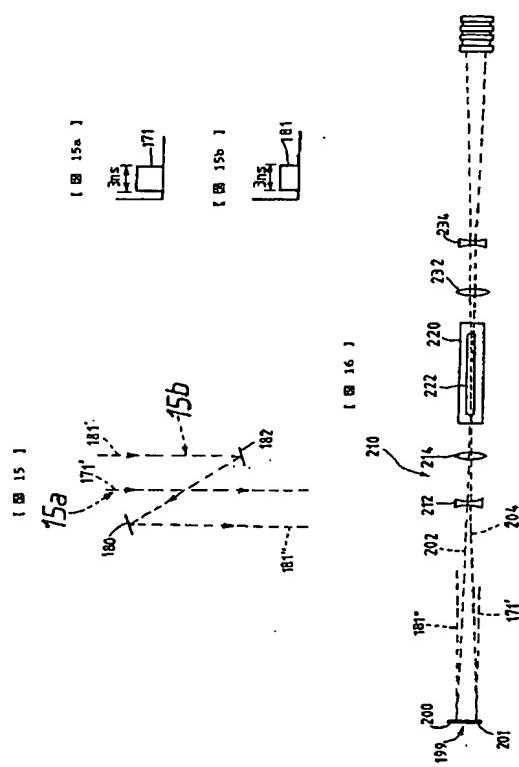
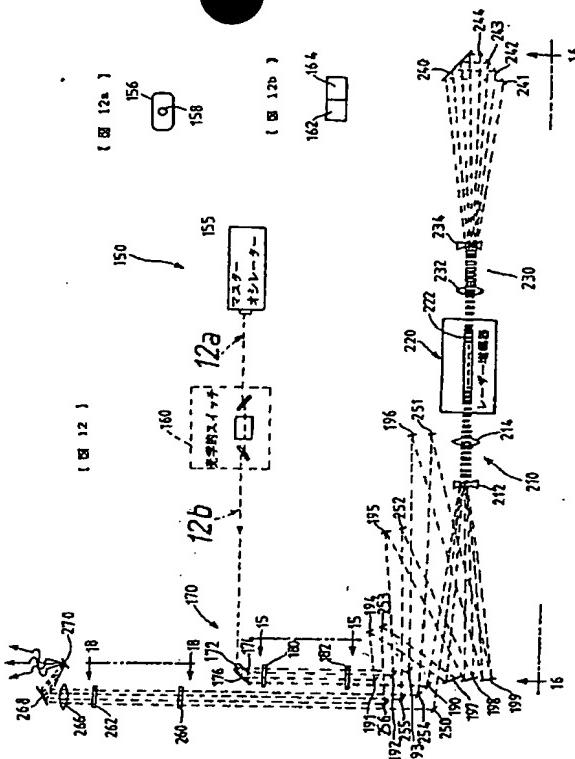
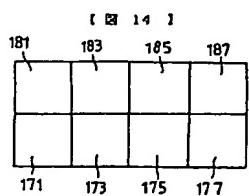
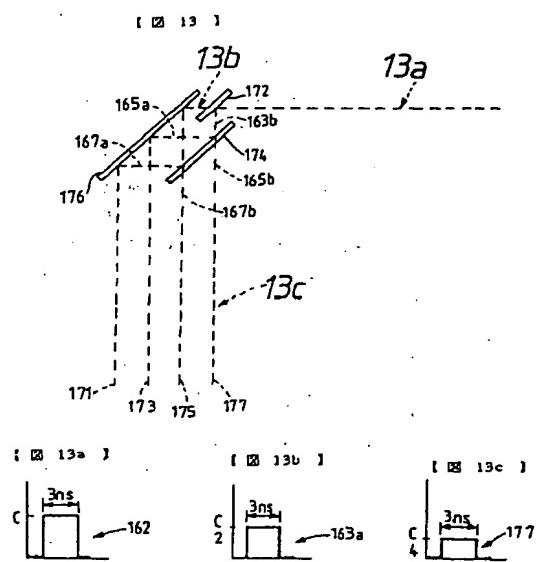
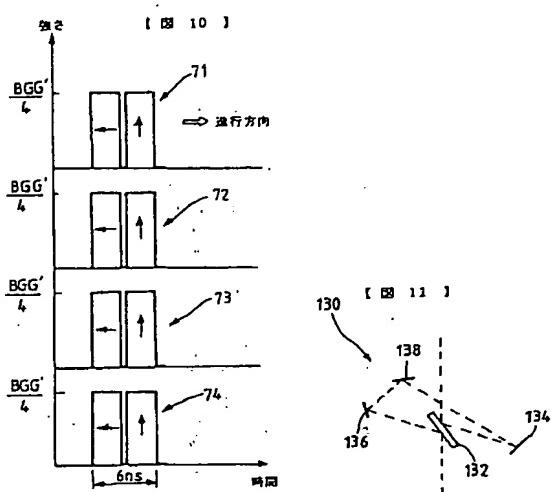
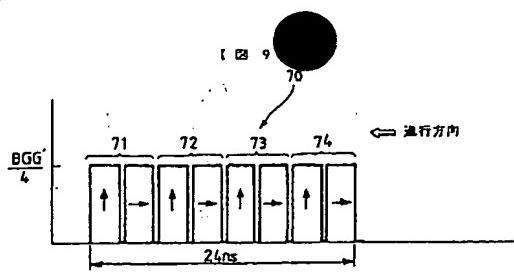


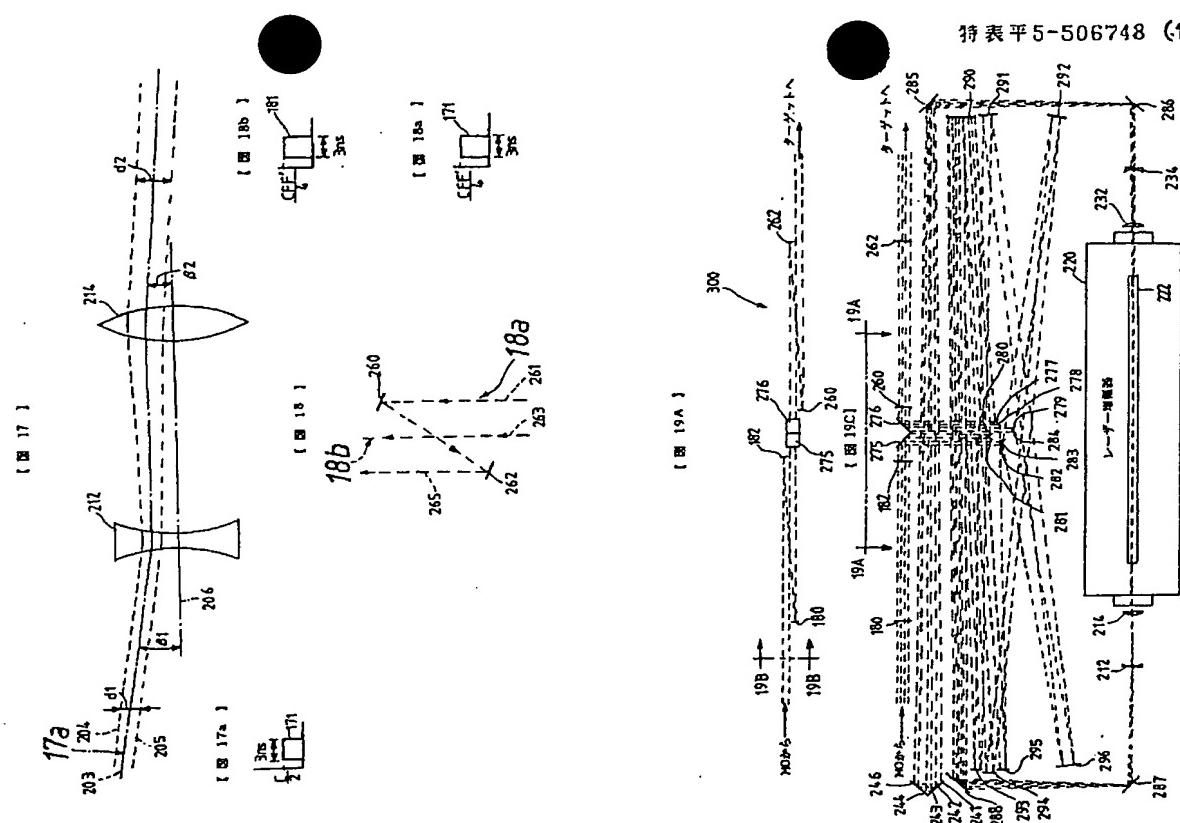
(excited species) の寿命は、出来るだけ長い数ナノ秒にできるから、マスター・オシレーター・パルスを隣接するパルス間の時間の長さよりも少ない長さにトリミングすることによって、本発明によるパルス圧縮の量を実質的に改善することが可能である。たとえば、個々のパルスが 3 ナノ秒だけ離されているパルス列では、各パルスの継続時間は 2 ナノ秒かもしれない。したがって隣接するパルス間に 1 ナノ秒のスペースを残す。1 ナノ秒ギャップ中にゲイン分子の励起状態の抑制により失われたエネルギー量は、パルス圧縮における重要な改善に照してみて多くの場合に受け入れ可能である。

隣接するパルス間のスペーシングを決定するのに使用される一般的ガイドラインは下記の通りである。隣接するパルス間のスペースは、光の速度にゲイン媒体のエネルギー蓄積時間を乗ずることによって決定したスペース間隔より少いかまたは等しくなければならぬ。

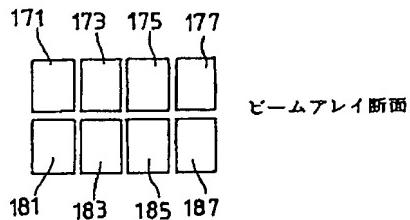
本発明は、好ましい実施例に関して説明したが、当業者は、添付の請求項の精神及び範囲から逸脱することなく多くの変更が行なわれ得ることは明らかであろう。そのような変更は、請求項の範囲内に含まれることは言うまでもない。







[ 19B ]



マスター・オシレーター (22, 155) からの出力  
 パルス (24) を電子光学シャッターを使用して所望  
 の継続時間にトリムするための、ホトリソグラフィに  
 使用されるレーザープラズマX線源が開示されている。  
 その際、パルスは種々の遅延光路を通過するいくつか  
 の部片に分割され、その結果それらの部片は逐次レー  
 ザーパワー増幅器 (90) を通過する。増幅後、それ  
 らの部片は再び組み合され、その後プラズママターゲット  
 (12, 144, 270) に集束される。第1実施例では、各パルス部片が遅延光路に沿って通過する際に、各パルス片を区別するために偏光コーディング及び角度コーディング法が使用されている。第2実施例では、偏光コーディングの代りに第1実施例の角度平面を横切る追加の角度コーディングが使用される。更にいづれの実施例でも、ビーム・バス間の角度を縮小させ、より多くのビームをレーザー増幅器のゲイン領域 (92, 222) に適合させるために、エキスピダーナー/レデューサ組立体 (80, 100, 210, 230) が使用されている。



THIS PAGE BLANK (USPTO)